

DERWENT-ACC-NO: 1992-301382  
DERWENT-WEEK: 199237  
COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD

TITLE: Contactless measuring equipment using laser beam to  
measure vibrations  
of object - assigns evaluating unit to receiver modulating  
frequency shifted  
reference laser beam by dispersed laser beam from object  
intercepted by  
measuring head

INVENTOR: NOLL, R; RUEHL, F

PATENT-ASSIGNEE: FRAUNHOFER GES FOERDERUNG[FRAU]

PRIORITY-DATA: 1991DE-4106572 (March 1, 1991)

PATENT-FAMILY:

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	
PAGES MAIN-IPC			
DE 4106572 A	September 3, 1992	N/A	008
G01H 009/00			
DE 4106572 C2	June 9, 1993	N/A	009
G01H 009/00			

APPLICATION-DATA:

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO
APPL-DATE		
DE 4106572A	N/A	1991DE-4106572
March 1, 1991		
DE 4106572C2	N/A	1991DE-4106572
March 1, 1991		

INT-CL\_(IPC): B23Q017/12; G01H009/00 ; G01S017/58

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 4106572A

BASIC-ABSTRACT: A beam deflecting section directs the beam from  
the laser  
source to various measuring points on the object concerned in  
sequence. A  
measuring head receives the light dispersed by the object to  
supply a receiver.  
The received laser light modulates a frequency shifted reference  
laser beam in  
the receiver.

To measure vibrating in three dimensions (x,y,z), three measuring

heads

(12,13,14) are deployed to intercept radiation originating from a single measuring point (17) on the object (18) concerned. These heads are arranged outside the original laser radiation (16) area in a plane not including the measuring point (17) to supply the receiver. A location determining unit (14') registers the relative position of the measuring point (17) w.r.t. the laser beam (16).

USE/ADVANTAGE - Accurately ascertaining rigidity or characteristic shape of oscillation of machine construction. Contactless and therefore without inertia. Being three dimensional can ascertain form of measured object.

ABSTRACTED-PUB-NO: DE 4106572C

EQUIVALENT-ABSTRACTS: The measuring equipment has three measuring heads

(12,13,14) which detect motion of a point (17) on an object (18) in three separate directions. These directions are outside the direction of incidence of a single laser beam (16) projected onto the object. Light scattered by the object is detected by all three heads which are arranged in a plane which does not contain the object point.

The heads are connected to separate detectors in which a portion of a frequency shifted reference laser beam is superimposed on the scattered light. The measuring operation is performed at several points on the object and the results are analysed to provide data on object stiffness and characteristic vibrations.

USE/ADVANTAGE - Optimisation of vibrating machinery design. Three-dimensional analysis enables object shape to be determined.

\*

CHOSEN-DRAWING: Dwg.2/3 Dwg.2/4



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 41 06 572 A 1

⑤1 Int. Cl. 5:  
G 01 H 9/00  
B 23 Q 17/12  
G 01 S 17/58  
// G 01 P 13/00, G 01 B  
11/16, G 01 M 7/02

②1 Aktenzeichen: P 41 06 572.7  
②2 Anmeldetag: 1. 3. 91  
④3 Offenlegungstag: 3. 9. 92

DE 41 06 572 A 1

⑦1 Anmelder:

Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der  
angewandten Forschung eV, 8000 München, DE

⑦4 Vertr. ter:

Sturies, H., Dipl.-Phys. Dr.-Ing.; Eichler, P., Dipl.-Ing.,  
Pat.-Anwälte, 5600 Wuppertal

⑦2 Erfinder:

Rühl, Falk, Dr., 5106 Roetgen, DE; Noll, Reinhard,  
Dr., 5100 Aachen, DE

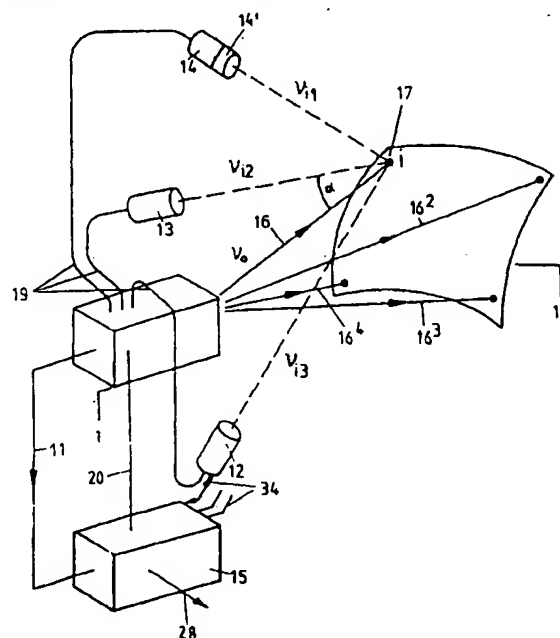
Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 V. rrichtung zum berührungslosen Messen von Objektschwingungen mit einem Laserstrahl

⑤7 Vorrichtung zum berührungslosen Messen von Objektschwingungen mit einem Laserstrahl (16), der mit einer die Einstrahlrichtung ( $\vec{e}_{i0}$ ) bestimmenden Strahlableitrichtung (7) nacheinander auf unterschiedliche Meßorte (17) des Meßobjekts (18) gerichtet ist, mit einem vom Meßobjekt (18) herrührendes Streulicht des Laserstrahls (16) aufnehmenden Meßkopf (12), der an einen Empfänger (24) angeschlossen ist, mit einem frequenzverschobenen Referenz-Laserstrahl (8), der in dem Empfänger (24) dem Streulicht des Meßobjekts (18) überlagert ist, und mit einer an den Empfänger (24) angeschlossenen Auswertungs-einrichtung (15).

Um Meßorte (17) eines Meßobjekts (18) hinsichtlich ihrer in drei Raumrichtungen erfolgenden Bewegungen ausmessen zu können, ist die Vorrichtung so ausgebildet, daß zum Messen der in drei Raumrichtungen (x, y, z) erfolgenden Bewegungen des Meßobjekts (18) an einem Meßort (17) insgesamt drei vom Meßobjekt (18) herrührendes Streulicht des Laserstrahls (16) aufnehmende Meßköpfe (12, 13, 14)

außerhalb der Einstrahlrichtung ( $\vec{e}_{i0}$ ) des Laserstrahls (16) ortsfest in einer den Meßort (17) nicht aufweisenden Anordnungsebene angeordnet und an den Empfänger (24) angeschlossen sind, und daß eine die Relativlage des Meßorts (17) auf dem Laserstrahl (16) ermittelnde Ortsbestimmungseinrichtung (14') vorhanden ist.



DE 41 06 572 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zum berührungslosen Messen von Objektschwingungen mit einem Laserstrahl, der mit einer die Einstrahlrichtung bestimmenden Strahlableinrichtung nacheinander auf unterschiedliche Meßorte des Meßobjekts gerichtet ist, mit einem vom Meßobjekt herrührendes Streulicht des Laserstrahls aufnehmenden Meßkopf, der an einen Empfänger angeschlossen ist, mit einem frequenzverschobenen Referenz-Laserstrahl, der in dem Empfänger dem Streulicht des Meßobjekts überlagert ist, und mit einer an den Empfänger angeschlossenen Auswertungseinrichtung.

Um Anlagen und Maschinen optimal konstruieren zu können, ist es erforderlich, das dynamische Verhalten der mechanischen Strukturen möglichst genau zu kennen. Es ist also erforderlich, das Steifigkeitsverhalten bzw. die charakteristischen Schwingungsformen einer Maschinenkonstruktion möglichst genau beschreiben bzw. ermitteln zu können. Für diese Ermittlung sind Meßverfahren erforderlich, mit denen die Bewegung eines Objektpunktes erfaßt werden kann, z. B. die Bewegung eines Objektpunktes durch eine Maschinenschwingung.

Es ist möglich, dreidimensionale Bewegungen eines Objektpunktes mit mechanischen Sensoren zu erfassen, die beispielsweise als Weg-, Geschwindigkeits- oder Beschleunigungsaufnehmer eingesetzt werden. Die Sensoren werden an ausgewählten Meßorten am Meßobjekt befestigt. Die mechanische Befestigung erfolgt üblicherweise durch Kleben oder Schrauben, so daß eine Änderung eines Meßorts stets mit einem entsprechenden Änderungsaufwand verknüpft ist. Infolge der mechanischen Befestigung kann mit den angesprochenen berührenden Sensoren nicht an bewegten Bauteilen gemessen werden. Die Sensoren verfälschen infolge ihrer eigenen Masse insbesondere an leichten Bauteilen die Schwingungsformen des Meßobjekts. Die Sensoren bilden ein Masse-Feder-System, dessen Steifigkeit und Masse die Bandbreite des Sensors begrenzen. Letztlich ist nicht auszuschließen, daß die Meßergebnisse durch gegenseitige Beeinflussung verfälscht werden, wenn der Sensor Objektbewegungen in drei Dimensionen mißt, also bei sogenannten Triax-Sensoren.

Allgemein bekannt sind flächenabastende Laser-Doppler-Schwingungsanalysesysteme, mit denen eine berührungslose Geschwindigkeitsmessung von Objektpunkten von schwingenden Bauteilen möglich ist.

Aus der DE-Z: Technisches Messen 1984, S. 394 ff. ist eine Vorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen bekannt, bei der mit Hilfe eines frequenzverschobenen Referenz-Laserstrahls ein Geschwindigkeitssignal  $v(t)$  eines mit dem Laserstrahl bestrahlten Meßortes des Meßobjekts durch die Auswertungseinrichtung ermittelt wird. Der Laserstrahl wird über zwei gesteuerte Ablenkspiegel, die Teil der die Einstrahlrichtung bestimmenden Strahlableinrichtung sind, auf das Meßobjekt fokussiert. Das zurückgestreute Licht wird auf demselben Wege gesammelt und gelangt gemeinsam mit dem Referenzstrahl auf einen Fotodetektor. Dessen Signal wird von der Auswertungseinrichtung zur Ermittlung der gesuchten Geschwindigkeitsfunktion verwertet. Bei der bekannten Vorrichtung ist die Beobachtungsrichtung der Einstrahlungsrichtung des Laserstrahls stets exakt entgegengesetzt gerichtet. Der bekannte Meßkopf nimmt also stets nur dasjenige reflektierte Streulicht des Laserstrahls vom Meßobjekt auf,

welches genau entgegengesetzt der Einstrahlungsrichtung des Laserstrahls vom Meßobjekt herrührt. Mit der bekannten Vorrichtung kann also nur entsprechend der Einstrahlrichtung des Laserstrahls gemessen werden, also in nur einer einzigen Richtung, so daß die Messung sozusagen eindimensional ist. Dadurch können zwar Schwingungsprofile von unterschiedlichen Meßorten des Meßobjekts erstellt werden, beispielsweise also von Schwingungen eines eingespannten Bleches, jedoch ohne daß dabei die spezielle Ausbildung des Meßobjekts hinsichtlich des Abstands seiner Meßorte von der messenden Vorrichtung erfaßt werden kann.

Demgegenüber liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung mit den eingangs genannten Merkmalen so zu verbessern, daß die berührungslose und damit trägheitslose Messung der Objektschwingungen von Meßorten eines Meßobjekts in den drei Raumrichtungen ermöglicht wird, wobei die Formgestaltung des Meßobjekts erfaßt werden kann.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, daß zum Messen der in drei Raumrichtungen erfolgenden Bewegungen des Meßobjekts an einem Meßort insgesamt drei vom Meßobjekt herrührendes Streulicht des Laserstrahls aufnehmenden Meßköpfe außerhalb der Einstrahlrichtung des Laserstrahls ortsfest in einer den Meßort nicht aufweisenden Anordnungsebene angeordnet und an den Empfänger angeschlossen sind, und daß eine die Relativlage des Meßorts auf dem Laserstrahl ermittelnde Ortsbestimmungseinrichtung vorhanden ist.

Für die Erfindung ist zunächst die Erkenntnis wichtig, daß die Einstrahlrichtung des Laserstrahls unabhängig von der Beobachtungsrichtung sein muß, unter der der jeweilige Meßort beim Abtasten des Meßobjekts mit dem Laserstrahl ausgemessen wird. Dieser Ausmessung dienen drei an unterschiedlichen Stellen relativ zum Meßobjekt angeordnete Meßköpfe, die jeweils auf das Meßobjekt ausgerichtet sind und das von diesem herrührende Streulicht des Laserstrahls aufnehmen. Für die Anordnung der Meßköpfe ist von Bedeutung, daß sie nicht koplanar mit dem Meßobjekt bzw. mit dem Meßort angeordnet sind. Die von den Meßköpfen aufgespannte Ebene darf also den Meßort nicht mit umfassen. Es stehen für die Beobachtung des Meßobjekts drei Meßsignale zur Verfügung, die infolge der ortsfesten Anordnung der Meßköpfe nur von den Änderungen der Streuung des Laserlichts am Meßort abhängig sind, so daß mit diesen Meßsignalen durch die Auswertungseinrichtung Informationen über die Bewegungen des Meßobjekts am Meßort in allen drei Raumrichtungen gewonnen werden können. Es ist also nicht erforderlich, an dem untersuchten Meßobjekt mechanische Strukturen zu befestigen, so daß die Einfachheit der Messung und die Flexibilität bei dem Einsatz der Meßvorrichtung erheblich verbessert werden können. Es kann an bewegten Meßobjekten gemessen werden und Verfälschungen des Meßergebnisses durch eine endliche Masse von Sensoren auf das dynamische Verhalten des Meßobjekts werden ausgeschlossen. Insbesondere leichte Strukturen können infolgedessen trägheitslos und damit störungsfrei vermessen werden. Die rein optische Vermessung ermöglicht eine sehr hohe Meßbandbreite in allen drei Raumrichtungen.

Von weiterer Bedeutung ist die Ortsbestimmungseinrichtung, die es erlaubt, die Relativlage des Meßorts in Bezug auf die Meßvorrichtung zu bestimmen. Infolgedessen ist nicht nur eine einfache Messung der Schwingungsbewegung eines Meßorts eines Meßobjekts möglich, sondern zugleich auch die einfache Erfassung des

Meßborts im Raum bzw. in Bezug auf den Laserstrahl.

In der Regel wird es von Vorteil sein, wenn alle Meßköpfe spitzwinklig zum Laserstrahl auf das Meßobjekt gerichtet sind. Alle Meßköpfe beobachten das Meßobjekt von einer Seite bzw. von einem halbkugeligen Raumbereich her. Die Ausrichtung der Meßköpfe kann dabei an die Beobachtungsaufgabe angepaßt werden, indem die Winkel der Beobachtungsrichtungen der Meßköpfe zum Laserstrahl anforderungsgemäß eingestellt werden.

Eine einfache Übermittlung der von den Meßköpfen gelieferten Signale an den Empfänger wird dadurch erreicht, daß jeder Meßkopf mit einem Lichtleiter an den Empfänger angeschlossen ist. Die Lichtleiter sind so flexibel, daß sie jeder Anordnung der Meßköpfe folgen können und zugleich gewährleisten, daß Signalverlust ausgeschlossen ist.

Die Vorrichtung ist des weiteren so ausgestaltet, daß ein Meßkopf einen das vom Meßobjekt herrührende Streulicht des Laserstrahls aufnehmenden positionsempfindlichen Detektor als Ortsbestimmungseinrichtung aufweist. Mit Hilfe dieses Detektors kann die Relativlage des Meßborts auf dem Laserstrahl bestimmt werden, so daß der Meßkopf in sehr vorteilhafter Weise nicht nur für die Beobachtung des Meßborts in Bezug auf Objektschwingungen des Meßobjekts eingesetzt wird, sondern zugleich auch ein Signal liefern kann, mit dem die Lage des Meßborts des Meßobjekts zu bestimmen ist.

Um die Meßvorrichtung baulich zweckmäßig ausbilden zu können, wird sie so gestaltet, daß die Meßköpfe an einem Gestell angeordnet sind, mit dem die auf das Meßobjekt bezogenen Beobachtungsrichtungen der Meßköpfe einstellbar sind. Hierdurch wird eine bauliche Integration der Meßköpfe in die Vorrichtung ermöglicht, was die Anpassung der Meßvorrichtung an unterschiedliche Meßaufgaben erleichtert, insbesondere an unterschiedlich ausgebildete und angeordnete Meßobjekte.

Im vorgenannten Sinne ist es vorteilhaft, wenn die Meßköpfe von der Auswertungseinrichtung steuerbare Einstelleinrichtungen aufweisen. Mit Hilfe der von der Auswertungseinrichtung bestimmten Meßergebnisse kann über die steuerbaren Einstelleinrichtungen eine optimale Positionierung der Meßköpfe in Anpassung an die Meßobjekte erreicht werden.

Die Vorrichtung ist so ausgebildet, daß die die Einstrahlrichtung bestimmende Strahlableiteneinrichtung und/oder die Ortsbestimmungseinrichtung von der Auswertungseinrichtung steuerbar sind. Das ist im Sinne einer schnellen Steuerung der Vorrichtung zur Anpassung an eine schnelle Meßdatenverarbeitung von Vorteil, wie sie für komplizierte Formen und für hochfrequente Schwingungsvorgänge erforderlich ist.

Von Vorteil ist es, wenn jeder Meßkopf einen Empfänger aufweist, dem der frequenzverschobene Referenz-Laserstrahl über einen Lichtleiter zugeleitet ist, und daß das Ausgangssignal des Empfängers der Auswertungseinheit über einen weiteren Lichtleiter zugeleitet ist. In diesem Fall werden Koppelverluste des in der Regel schwachen Streulichts in einen Lichtleiter vermieden, die auftreten, wenn das Streulicht vom Meßkopf mit einem Lichtleiter zu einem Empfänger geleitet werden müßte. Eine derartige Vermeidung von Koppelverlusten könnte sich in gewissen Anwendungsfällen der Meßvorrichtung positiv auswirken.

Die Erfindung wird anhand der Zeichnungen erläutert. Es zeigt

Fig. 1 eine Darstellung zur grundsätzlichen Erläute-

rung physikalisch bedeutsamer Größen für die Schwingungsbeobachtung eines Meßborts eines Meßobjekts,

Fig. 2 eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in Bezug auf ein Meßobjekt,

Fig. 3 eine der Fig. 2 ähnliche Darstellung in baulicher Konkretisierung eines Teils innerer Komponenten, und

Fig. 4 eine blockschaltbildartige Darstellung eines Sender/Empfängers der Vorrichtung der Fig. 2, 3.

In Fig. 1 wird schematisch ein Meßobjekt 18 dargestellt, das in Einstrahlrichtung  $e_{10}$  mit einem Laserstrahl bestrahlt wird, der das gesamte Meßobjekt 18 punkt- oder zeilenweise abtastet. Dementsprechend gibt es auf dem Meßobjekt 18 eine Vielzahl von Meßborten 17, die allgemein mit  $i$  bezeichnet sind, wobei  $i = 1 \dots N$  ist, wobei  $N$  eine durch die Größe des Meßobjekts 18 und/oder durch die auszuwählende Anzahl von Meßborten 17 bestimmte ganze Zahl ist.

Am Meßort 17 findet eine Bewegung des Meßobjekts 18 statt, nämlich eine Schwingung mit der zeitabhängigen Geschwindigkeit  $\vec{v}_i = \vec{v}_i(t)$  im Raum. Diese Schwingung wird beobachtet, und zwar in der Beobachtungsrichtung  $e_{ij}$ . Die Beobachtung erfolgt also in einer Richtung, die von der Einstrahlrichtung abweicht. Zur Beobachtung der Bewegung des Meßobjekts 18 am Meßort 17 wird das in die Beobachtungsrichtung gestreute Licht des Laserstrahls benutzt. Dieses Streulicht erfährt infolge der Bewegung des Meßobjekts eine Frequenzverschiebung. Diese Dopplerverschiebung ist abhängig von der Eigengeschwindigkeit des Meßobjekts 18, von der Einstrahlrichtung  $e_{10}$  und von der Beobachtungsrichtung  $e_{ij}$ . Die Frequenz  $\nu_{ij}$  bestimmt sich aus der Frequenz  $\nu_0$  des Laserlichts gemäß der zu Fig. 1 angegebenen Formel, in der  $c$  die absolute Lichtgeschwindigkeit bedeutet und  $j$  die Anzahl der Beobachtungseinrichtungen. Bei  $j = 1, 2, 3$  wird das Streulicht dreier verschiedener Raumrichtungen beobachtet, so daß dementsprechend drei Vektorkomponenten der Geschwindigkeit  $\vec{v}_i$  bestimmt werden können, aus denen die drei Raumkomponenten der gesuchten zeitabhängigen Geschwindigkeit  $\vec{v}_i$  nach allgemeinen geometrischen Beziehungen berechnet werden können.

Fig. 2 veranschaulicht außer der mit Fig. 1 übereinstimmenden Darstellung eines Meßobjekts 18 in schematischer Darstellung einen Sender/Empfänger 1, der mit einem Laserstrahl 16 das Meßobjekt 18 abtastet. Die Meßköpfe 12 bis 14 sind so vor dem Meßobjekt 18 angeordnet, daß sie mit dem Laserstrahl 16 stets einen spitzen Winkel  $\alpha$  bilden. Hiervon kann jedoch auch abgewichen werden, wenn die Form oder das Schwingungsverhalten des Meßobjekts 18 dies erfordern. Der Laserstrahl kann die Extremlagen  $16^1, 16^2, 16^3$  und  $16^4$  einnehmen. In dem durch diese Extremlagen bestimmten Bereich können alle Meßborte 17 mit den Kennzahlen  $i = 1$  bis  $N$  abgetastet werden, wobei die jeweiligen Meßborte 17 frei wählbar sind und im Sinne einer lückenlosen Abtastung oder im Sinne des diskreten Meßbortes 17 bestimmt werden. Dementsprechend liegen unterschiedliche Einstrahlrichtungen  $e_{10} = e_{10}^1$  bis  $e_{10}^N$  vor. Diese Einstrahlrichtungen werden von einer Strahlableiteneinrichtung 7 bestimmt und sind in Fig. 4 durch ein Strahlenbündel 8 symbolisiert.

Zur Beobachtung des Meßbortes 17 bzw. aller anderen Meßborte sind drei Meßköpfe 12 bis 14 vorhanden, die auf das Meßobjekt 18 gerichtet sind. Sie nehmen von dem Meßobjekt 18 herrührendes Streulicht des Laserstrahls 16 auf. Die Meßköpfe 12 bis 14 sind über Lichtlei-

ter 19 mit dem Sender/Empfänger 1 verbunden, so daß das von ihnen aufgenommene Laserstreulicht mit dem Lichtleiter 19 an den Empfänger 24 des Sender/Empfängers 1 weitergeleitet werden kann. Die dort gewonnenen Daten werden über eine Datenleitung 11 einer Auswertungseinheit 15 zugeleitet, von der das Meßergebnis über eine Meldeleitung 26 beispielsweise an eine nicht dargestellte Anzeigeeinrichtung abgegeben wird.

Das Laserlicht des Laserstrahls 16 soll die Frequenz  $\nu_0$  haben. Infolge der Bewegung des Meßborts 17 erfolgt eine Dopplerverschiebung in Abhängigkeit von der Schwingung des Meßborts 17 mit der Kennzahl  $i$ . Dementsprechend sind die Frequenzen des Streulichts in den drei Beobachtungsrichtungen der Meßköpfe 12, 14 frequenzverschoben und weisen die Frequenzen  $\nu_{i1}$ ,  $\nu_{i2}$  und  $\nu_{i3}$  auf. Diese Frequenzverschiebungen enthalten an sich bereits die erforderliche Information über den Schwingungsvorgang am Meßort 17. Die Frequenzverschiebungen sind jedoch sehr klein, so daß zu ihrer Auswertung im Sender/Empfänger 1 das sogenannte Heterodyn-Verfahren benutzt wird, bei dem eine definierte Frequenzverschiebung eines Referenz-Laserstrahls benutzt wird, um die geschwindigkeitsproportionale Doppler-Frequenzverschiebung zur Bestimmung des gewünschten Geschwindigkeitssignals  $\vec{v}(t)$  zu benutzen. Insoweit wird auf Fig. 4 Bezug genommen, in der der Sender/Empfänger 1 mit seinen beiden Komponenten Sender 29 und Empfänger 24 blockschaltbildartig dargestellt ist.

Im Sender 29 wird mit einem Laser 2 ein Laserstrahl 3 erzeugt, der einer frequenzverschiebenden Einheit 4 zugeleitet wird. Die frequenzverschiebende Einheit 4 ist beispielsweise eine sogenannte Bragg-Zelle. Diese Einheit 4 erzeugt neben dem nicht frequenzverschobenen Laserstrahl 5 einen frequenzverschobenen Laserstrahl 6, der über Strahlführungsplatten 9, 9' einem Empfangsmodul 10 zugeleitet wird. Der nicht frequenzverschobene Laserstrahl 5 gelangt in die Strahlableinrichtung 7, welche den Laserstrahl 16 auf die gewünschten Meßorte 17 lenkt. Der Ablenkung dienen in der Strahlableinrichtung 7 vorhandene, nicht näher dargestellte Schwenkspiegel, die von der gewünschten Ablenkung entsprechend gesteuerten Stellmotoren so verschwenkt werden, daß der Laserstrahl 16 die gewünschte Richtung hat. Das kann beispielsweise durch Winkelgeber kontrolliert werden, so daß die Einstrahlrichtungen  $e_{i0}$  zu allen Zeitpunkten des Meßvorgangs bekannt sind. Dabei werden die Daten der Strahlableinrichtung 7 über eine Datenleitung 20 an die Auswertungseinheit 15 übertragen.

Der Empfangsmodul 10 erhält über die Lichtleiter 19 das Streulicht der Meßköpfe 12 bis 14 zugeführt, wobei jeweils das Streulicht eines der Meßköpfe mit einem Anteil des frequenzverschobenen Laserstrahls 6 überlagert wird, indem es durch eine teildurchlässige Platte 9' gemeinsam mit dem Referenzstrahl auf einen Empfänger des Empfangsmoduls 10 gestrahlt wird, beispielsweise auf einen Fotoempfänger. Es sind insgesamt also drei Empfangsmodule 10 für die drei Meßköpfe 12 bis 14 vorhanden. Das Signal des Fotoempfängers jedes Moduls 10 wird über die Datenleitung 11 dem Auswertungssystem 15 zugeführt, welches die Schwingungsanalyse für die Meßorte 17 übernimmt. Es versteht sich, daß die Analyse der Bewegung eines Meßobjekts 18 an mehreren Meßorten 17 entsprechend getaktet erfolgen muß, wozu entsprechend schnelle Hardwarekomponenten einzusetzen sind. Die Auswertung ist insoweit herkömmlich.

In Fig. 3 ist das Meßobjekt 18 in Bezug auf ein Koordinatensystem 23 dargestellt, in Bezug auf welches die Schwingung des Meßobjekts 18 an einem Meßort 17 bestimmt wird. Die z-Achse fluchtet dabei mit der Normalrichtung 30 des Sender/Empfängers 1, der etwa auf die Mitte des Meßobjekts 18 ausgerichtet ist. Für die Meßköpfe 12 bis 14, von denen lediglich die beiden Meßköpfe 13, 14 dargestellt sind, ist ein Gestell 25 vorhanden, an dem die Meßköpfe 13, 14 verstellbar sind. Ein Gestellarm 22 ist vertikal in x-Richtung angeordnet und ein Gestellarm 31 ist horizontal in y-Richtung angeordnet. Beide Gestellarme 22, 31 sind vertikal zur z-Richtung. Beide Gestellarme 22, 31 weisen Längsnuten 32 auf, mit denen die Meßköpfe 13, 14 mit Schiebstützen 33 in gewünschter Weise angeordnet und befestigt werden können. Dementsprechend sind Beobachtungsrichtungen 26, 27 bezüglich eines Meßborts 17 vorhanden. Diese Beobachtungsrichtungen werden so gewählt, daß eine möglichst optimale Auswertung gegeben ist. Die Ausrichtung der Meßköpfe 13, 14 kann also beispielsweise so erfolgen, daß ein möglichst großer Anteil von Streulicht eingefangen wird, oder daß die Beobachtungsrichtungen 26, 27 mit den Hauptschwingungsrichtungen des Meßborts 17 übereinstimmen.

Zur Bestimmung der Koordinaten der Meßorte 17, der jeweiligen Einstrahlrichtung  $e_{i0}$  und der Beobachtungsrichtung  $e_{ij}$  wird das Koordinatensystem 23 mit seinen Koordinaten  $x, y, z$  herangezogen. Für die Bestimmung des Meßborts 17 kann davon ausgegangen werden, daß dieser stets in Einstrahlrichtung  $e_{i0}$  liegt. Die Koordinaten des Meßortes 17 sind:  $(x_i, y_i, z_i)$ . Die Koordinaten eines Meßkopfes sind:  $(x_j, y_j, z_j)$ . Die letztgenannten Koordinaten der Meßköpfe 12, 13, 14 können konventionell bestimmt werden, beispielsweise durch Ortsmelder an den Gestellarmen 22, 31. Auch die Anordnung des Sender/Empfängers 1 relativ zum Koordinatensystem wird konventionell festgelegt.

Es kann eine nicht dargestellte Ortsbestimmungseinrichtung verwendet werden, durch die die Lage des Leuchtflecks des Laserstrahls 16 auf dem Meßobjekt relativ zum Koordinatensystem 23 mit mechanischen Meßmitteln gemessen wird. Die Koordinaten der Meßorte 17 können aber auch mit Hilfe der Lasertriangulation bestimmt werden. In beiden Fällen können die die Meßorte 17 betreffenden Meßwerte an die Auswertungseinheit 15 übermittelt und dort gespeichert werden. Für jedes Meßobjekt 18 kann dann allein durch Identifizierung der Einstrahlrichtung  $e_{i0}$  die durch Schwingungen ungestörte Ausgangslage eines Meßborts 17 berücksichtigt werden.

Eine besonders vorteilhafte Bestimmung der Koordinaten eines Meßborts 17 ergibt sich durch Beobachtung des Leuchtflecks des Laserstrahls 16 und Abbildung auf einem ortsempfindlichen Detektor, der als Ortsbestimmungseinrichtung 14' in einen Meßkopf 14 eingebaut ist. In diesem Fall wird das reflektierte Licht nicht nur zur Bestimmung der entsprechenden Schwingungskomponente ausgenutzt, sondern zugleich auch zur Bestimmung des Meßborts 17. In Fig. 2 ist angedeutet, daß die Übermittlung dieser Meßgröße auch über eine separate Signalleitung 34 direkt an die Auswertungseinheit 15 erfolgen kann. Der in einer solchen Leitung schematisch dargestellte Doppelpfeil deutet an, daß mit Hilfe der Auswertungseinheit 15 auch eine Einstellung der Meßköpfe 12 bis 14 mittels einer nicht dargestellten Einstellrichtung 15 steuerbar ist, wodurch eine neue Einstellung der Beobachtungsrichtung dieser Meßköpfe erfolgen

kann.

Sind die Koordinaten  $(x_i, y_i, z_i)$  für  $i = 1$  bis  $N$  bekannt, wie auch die Koordinaten  $(x_j, y_j, z_j)$  für  $j = 1, 2$  und  $3$ , so können mit Hilfe allgemein bekannter mathematischer Regeln die Vektoren  $e_{i0}$  für  $i = 1$  bis  $N$  und  $c_{ij}$  für  $i = 1$  bis  $N$  und  $j = 1, 2, 3$  berechnet werden, so daß die in Abb. 1 angegebene Beziehung  $v_i$  für  $i = 1$  bis  $N$  aufgelöst werden kann. Die Geschwindigkeitsvektoren  $v_i$  sind die gesuchten Meßgrößen.

In den Figuren ist nicht ausgeführt, daß der Empfänger 24 bzw. der Empfangsmodul 10 auch im Meßkopf 12, 13, 14 angeordnet sein könnte. In diesem Falle müßte der frequenzverschobene Referenz-Laserstrahl 6 zur Überlagerung mit dem Streulicht des Meßortes über eine entsprechend gekippte Platte 9' durch den Lichtleiter 19 in den Meßkopf bzw. in den dort befindlichen Empfangsmodul 10 geleitet werden, dessen verstärktes elektrisches Signal der Auswertungseinheit 15 über einen nicht dargestellten weiteren Lichtleiter zugeführt wird.

### Patentansprüche

1. Vorrichtung zum berührungslosen Messen von Objektschwingungen mit einem Laserstrahl, der mit einer die Einstrahlrichtung bestimmenden Strahlableinrichtung nacheinander auf unterschiedliche Meßorte des Meßobjekts gerichtet ist, mit einem vom Meßobjekt herrührendes Streulicht des Laserstrahls aufnehmenden Meßkopf, der an einen Empfänger angeschlossen ist, mit einem frequenzverschobenen Referenz-Laserstrahl, der in dem Empfänger dem Streulicht des Meßobjekts überlagert ist, und mit einer an den Empfänger angeschlossenen Auswertungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß zum Messen der in drei Raumrichtungen  $(x, y, z)$  erfolgenden Bewegungen des Meßobjekts (18) an einem Meßort (17) insgesamt drei vom Meßobjekt (18) herrührendes Streulicht des Laserstrahls (16) aufnehmende Meßköpfe (12, 13, 14) außerhalb der Einstrahlrichtung ( $e_{i0}$ ) des Laserstrahls (16) ortsfest in einer den Meßort (17) nicht aufweisenden Anordnungsebene angeordnet und an den Empfänger (24) angeschlossen sind, und daß eine die Relativlage des Meßorts (17) auf dem Laserstrahl (16) ermittelnde Ortsbestimmungseinrichtung (14') vorhanden ist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß alle Meßköpfe (12, 13, 14) spitzwinklig zum Laserstrahl (16) auf das Meßobjekt (18) gerichtet sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Meßkopf (12, 13, 14) mit einem Lichtleiter (19) an den Empfänger (24) angeschlossen ist.
4. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß ein Meßkopf (12, 13, 14) einen das vom Meßobjekt (18) herrührende Streulicht des Laserstrahls (16) aufnehmenden positionsempfindlichen Detektor als Ortsbestimmungseinrichtung (14') aufweist.
5. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßköpfe (13, 14) an einem Gestell (25) angeordnet sind, mit dem die auf das Meßobjekt (18) bezogenen Beobachtungsrichtungen (26, 27) der Meßköpfe (13, 14) einstellbar sind.
6. Vorrichtung nach einem oder mehreren der An-

sprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßköpfe (13, 14) von der Auswertungseinrichtung (15) steuerbare Einstelleinrichtungen aufweisen.

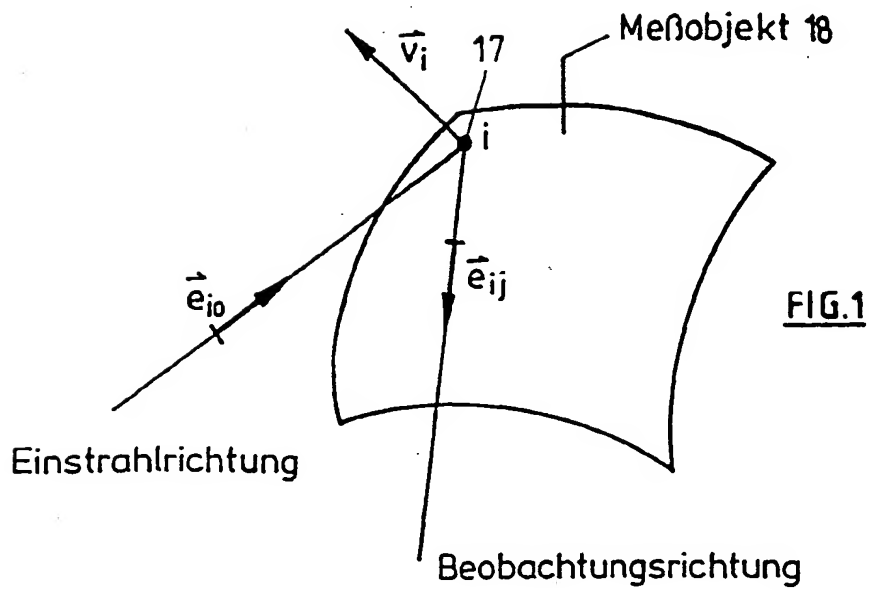
7. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß die die Einstrahlrichtung ( $e_{i0}$ ) bestimmende Strahlableinrichtung (7) und/oder die Ortsbestimmungseinrichtung (14') von der Auswertungseinrichtung (15) steuerbar sind.

8. Vorrichtung nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß jeder Meßkopf (12, 13, 14) einen Empfänger (24) aufweist, dem der frequenzverschobene Referenz-Laserstrahl (6) über einen Lichtleiter (19) zugeleitet ist, und daß das Ausgangssignal des Empfängers (24) der Auswertungseinheit über einen weiteren Lichtleiter zugeleitet ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



$$\hat{v}_i = \bar{v}_i(t) \quad , \quad i = 1 \dots N$$

$$v_{ij} = v_o \left( 1 + \frac{\hat{v}_i}{c} \cdot (\bar{e}_{ij} - \bar{e}_{io}) \right) \quad , \quad j = 1, 2, 3$$

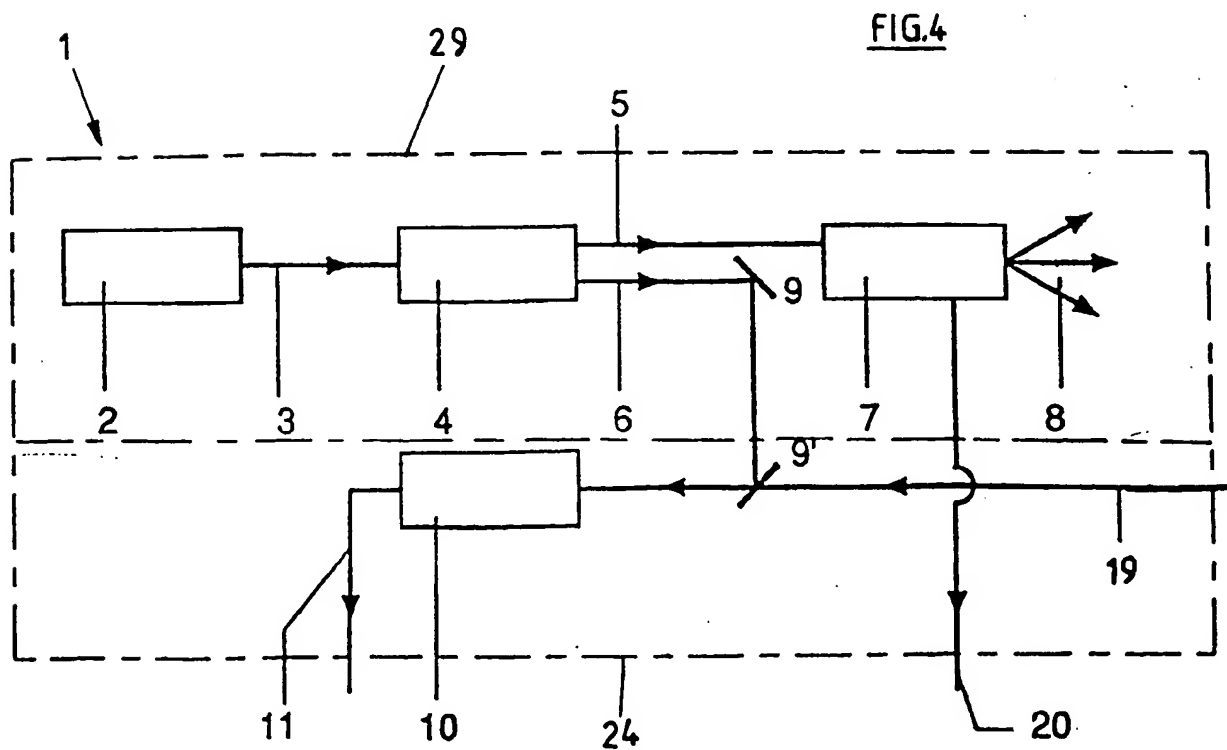




FIG.2

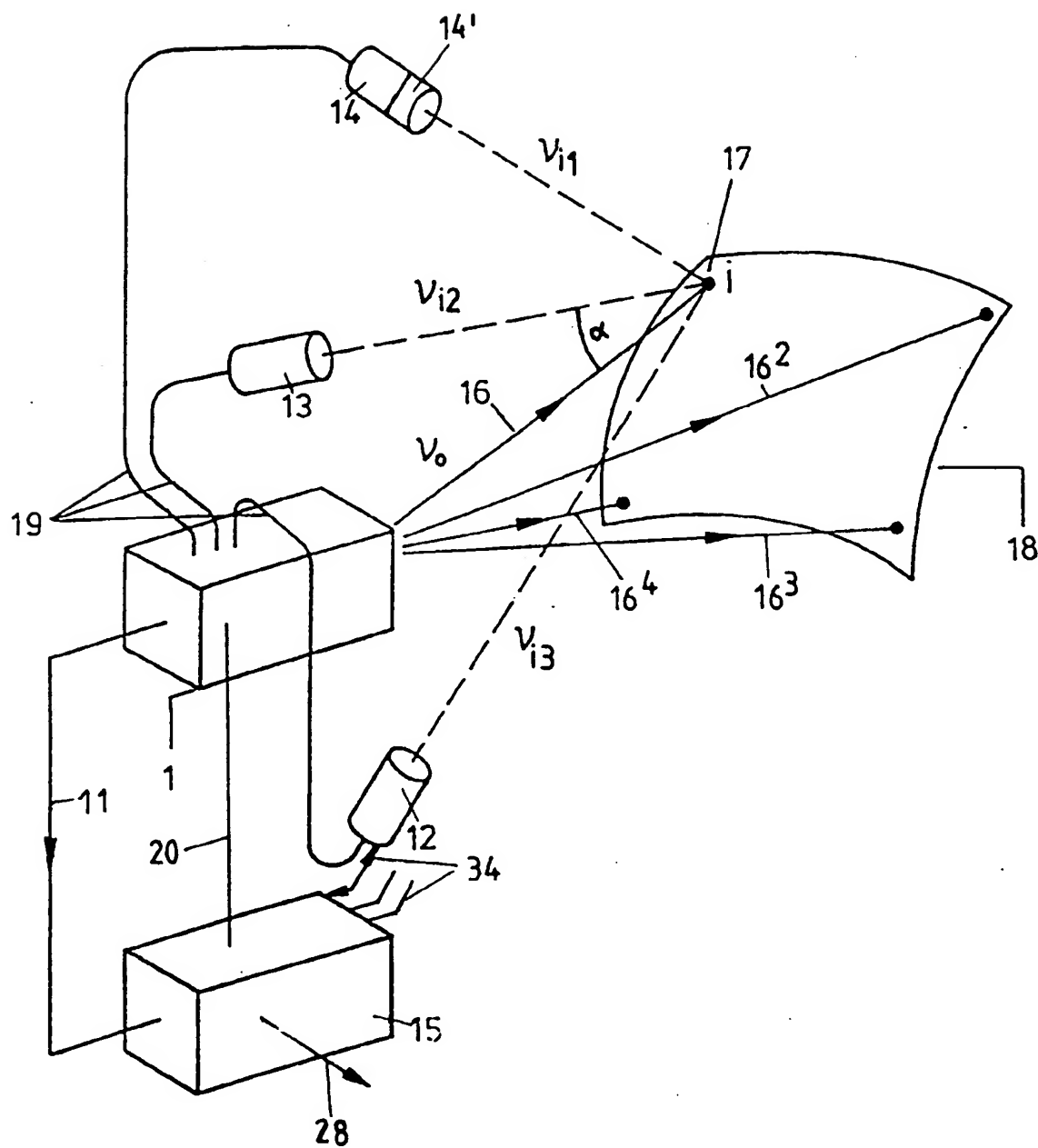


FIG.3

